

# Supercondutividade: que vibrações são essas?

Descoberta no início do século passado, a supercondutividade levou a vários desdobramentos práticos importantes, desde trens que flutuam sobre os trilhos ao mais potente acelerador de partículas do mundo, conhecido pela sigla LHC, que entrará em funcionamento ainda este ano em Genebra (Suíça). Porém, qual a explicação para esse fenômeno, no qual a eletricidade flui sem resistência? Resultados recentes publicados em *Nature* (v. 452, pp. 975-978, 2008) farão os físicos rever seus conceitos básicos sobre os chamados supercondutores de alta temperatura crítica.

“Toda e qualquer teoria para a supercondutividade será desaprovada!” Esta frase incisiva do físico suíço-americano Felix Bloch (1905-1983) resumia o sentimento dos especialistas em supercondutividade já na década de 1930, poucos anos depois de a mecânica quântica (teoria que lida com os fenômenos atômicos e subatômicos) ter sido formulada e a física atômica finalmente entendida. Ganhadores do prêmio Nobel que muito contribuíram para essa formulação não conseguiram explicar a supercondutividade: o dinamarquês Niels Bohr (1885-1962), que propôs o primeiro modelo quântico para o átomo; o austríaco Wolfgang Pauli (1900-1958), que basicamente mostrou haver apenas duas categorias de partículas na natureza, férmions e bósons; e o alemão Werner Heisenberg (1901-1976), o próprio descobridor da mecânica quântica.

A supercondutividade foi descoberta acidentalmente em 1911 por Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926), quando esse físico holandês resfriou o elemento químico mercúrio a uma temperatura perto do zero kelvin (ou zero absoluto, como é conhecido) e descobriu que a resistência à passagem de corrente elétrica nesse metal torna-se rigorosamente nula abaixo de certa temperatura, chamada crítica (no caso, de 4,2 kelvin, ou seja, 268,95 graus celsius negativos).

O fenômeno da supercondutividade é surpreendente, pois nele uma corrente pode fluir eternamente, já que não há dissipação de energia. Na condução elétrica, os elétrons trafegam no interior do metal, colidindo

com a rede cristalina, formada pelos átomos. As colisões devem-se à agitação térmica, o que explica o fato de a resistência elétrica diminuir com a temperatura, pois, com isso, a rede cristalina passa a vibrar cada vez menos. Bloch havia mostrado que não há colisões de elétrons com átomos, se estes estão alinhados, formando uma rede periódica perfeita. Mas esse alinhamento perfeito só é possível no zero absoluto e, assim, não explica por que abaixo da temperatura crítica os elétrons subitamente deixam de colidir. Eis o mistério do estado supercondutor.

Os físicos alemães e irmãos Fritz (1900-1954) e Heinz (1907-1970) London sugeriram, em 1935, que a supercondutividade resulta de um estado quântico macroscópico. Ou seja, os elétrons que conduzem a eletricidade no material (chamados elétrons de condução) aglomeram-se todos sob uma única ordem, formando um estado coletivo que se desloca coerentemente. Podemos imaginar que a passagem de um elétron através da rede cristalina polarize uma carga positiva ao redor do caminho percorrido por ele e que acabe por atrair um segundo elétron, de modo semelhante ao efeito encontrado nas corridas de fórmula I: um carro segue ‘no vácuo’ daquele que vai à frente. Entretanto, é surpreendente que todos os elétrons, em vez de se repelirem, pois têm a mesma carga, aglomerem-se, para se comportar como se fossem uma coisa só.

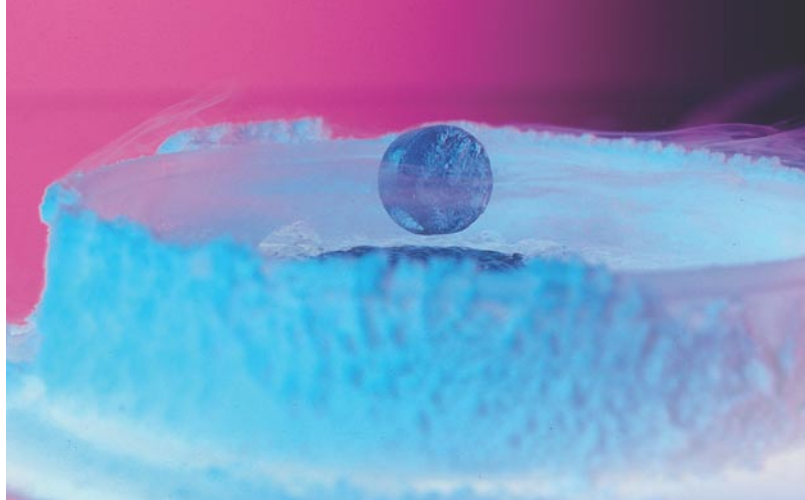
A sugestão dos irmãos London foi retomada após o fim da Segunda Guerra, quando questões científicas puderam novamente ser tratadas. Foi John Bardeen (1908-1991), físico

norte-americano, quem a considerou seriamente, quando, em 1950, recebeu um telefonema de um colega seu, Bernard Serin (1922-1974), deseioso em saber a opinião dele sobre a supercondutividade em isótopos de mercúrio (um isótopo de um elemento tem uma massa maior, devido à presença de nêutrons extras no núcleo atômico, mas as mesmas propriedades químicas do elemento em questão). Graças ao esforço para se produzir a bomba atômica no final da Segunda Guerra, a confecção de isótopos de mercúrio e outros metais havia se desenvolvido muito.

O resultado encontrado por Serin era que, quanto mais leve o isótopo, mais elevada a temperatura crítica do estado superconductor. Bardeen imediatamente entendeu a mensagem: a rede cristalina passa a vibrar diferentemente, devido à presença de isótopos, e a interação dos elétrons com essas vibrações eram fundamentais para se entender a supercondutividade. A idéia de utilizar isótopos também ocorreu a outros, como ao alemão Herbert Frölich (1905-1991), que havia mesmo formulado uma teoria, propondo a dependência da temperatura crítica com o inverso da raiz quadrada da massa do isótopo.

A largada para a corrida do entendimento da supercondutividade estava dada, mas foi Bardeen quem a ganhou, ao publicar a teoria BCS, em 1958, com seus colaboradores Leo Cooper e Robert Schrieffer, ambos norte-americanos. Essa teoria explica a supercondutividade com base no argumento de que os elétrons de condução formam pares e assim passam a agir coletivamente. Para arrancá-los desse estado coletivo, é preciso fornecer um valor mínimo de energia (o chamado *gap*), que é exatamente a energia necessária para quebrar um par.

Em 1986, uma nova revolução ocorreu, mais uma vez motivada pela rede cristalina: foram descobertos os materiais cerâmicos supercondutores a alta temperatura crítica (o termo 'alta temperatura', no caso, significa cerca de 200 graus celsius negativos).



Ímã (centro da imagem) levitando sobre um superconductor de alta temperatura crítica, resfriado com a ajuda de nitrogênio líquido. O fenômeno de levitação, no caso, deve-se ao chamado efeito Meissner

Os responsáveis pela façanha, o alemão Johannes Bednorz e o suíço Alex Muller, buscavam materiais dotados de um efeito especial intenso (efeito Jahn-Teller), pois julgavam ser essa propriedade capaz de aumentar significativamente a temperatura crítica. O efeito Jahn-Teller corresponde a uma deformação da rede cristalina, ocasionada ao redor de certos átomos e feita à custa de energia eletrônica.

Os físicos analisam as deformações de uma rede cristalina por meio de suas possíveis vibrações, os fônons, que são ondas que se propagam no interior do material. Neste início de século, o assunto voltou a interessar aos físicos, graças ao aprimoramento de uma nova técnica experimental, conhecida como Arpes (sigla, em inglês, para espectroscopia de fotoemissão com resolução angular). A Arpes é semelhante a jogar uma pedra (luz) em um lago (superfície do metal), e esta, além de arrancar diminutas gotas de água (elétrons), também pode gerar ondas na superfície (fônons), quando estas ondas existirem no material.

Essa técnica revela que há, nos materiais cerâmicos de alta temperatura, ondas propagadoras com energia entre 50 meV e 80 meV (para os padrões de energia com que estamos acostumados no cotidiano, essas quantidades são desprezíveis). O passo seguinte foi verificar se essas ondas correspondiam aos fônons – talvez aqueles responsáveis pela supercondutividade nos materiais cerâmicos de alta temperatura crítica. A teoria dos sólidos desenvolveu-se a

ponto de poder prever com precisão, por meio da técnica conhecida como aproximação de densidade local, quantos e quais são os fônons de um material, bastando conhecer sua estrutura cristalina.

Agora, porém, essa comparação das previsões teóricas com os resultados experimentais trouxe respostas inesperadas (e até indesejadas por muitos): embora a teoria preveja fônons com energia na faixa entre 50 meV e 80 meV, eles têm intensidade muito abaixo daquela encontrada experimentalmente pela técnica Arpes, como mostrado no recente artigo publicado por Feliciano Giustino, Marvin Cohen e Steven Louie, da Universidade da Califórnia, em Berkeley (Estados Unidos).

Em resumo: se essas excitações vistas por Arpes entre 50 meV e 80 meV explicam a supercondutividade, ainda não sabemos. Mas, pelo menos, já sabemos que elas não correspondem a simples vibrações da rede cristalina, ou seja, aos fônons do material. Esses resultados, de certo modo, farão com que os físicos repensem vários aspectos da teoria sobre a supercondutividade, um fenômeno que gera frutos práticos, mas que, em essência, permanece misterioso.

**Mauro M. Doria**

*Instituto de Física,  
Universidade Federal  
do Rio de Janeiro*

**Antonio R. de C. Romaguera**

*Departamento de Física,  
Universidade Federal Rural  
de Pernambuco*